

扣件博士 - 鍍鋅常見問題

著作權所有：惠達雜誌 / 撰文：Laurence Claus



您能解釋一下什麼是電鍍鋅嗎？

答：電鍍是一種電化學製程，將一種金屬的薄層沉積在另一種金屬上。就扣件而言，電鍍鋅是客戶和使用者的常見選項，包括在鋼材基板上沉積一層薄薄的鋅層。此製程主要是將電流導入「電鍍槽」，使鋅離子從固態鋅錠中剝離，透過電鍍槽傳導，並重新沉積在鋼製扣件上。

電鍍鋅如何保護鋼製扣件？

答：有幾種不同的保護機制可以用來保護零件免受腐蝕。這些機制可以是單一的保護模式，也可以結合起來提供更多的保護。在電鍍鋅的情況下，基底鋅層提供了一種自我犧牲機制，意即鋅層扮演陽極的角色，在基底受到攻擊和破壞之前犧牲自己。一旦鋅層完全犧牲了自己，並打開了通往基底層的通路，腐蝕就會發生。大多數的鍍鋅層在電鍍後都會進行鉻酸鹽處理。鉻酸鹽是一種富含鉻的化學物質，可在鍍層表面引發可提供鈍化機制的轉變。這會產生一層電性較弱的鈍化層，可增強鍍層的抗腐蝕能力。因此，電鍍鋅是透過結合犧牲性與鈍化性的保護機制來保護零件。

電鍍鋅為何廣受歡迎？

答：這個答案有幾個部分，但總括而言，電鍍鋅的設計可以用符合成本效益的方式提供適度的防蝕保護。此外，電鍍鋅在每個工業化地區都有供應，可提供美觀的表面處理（光亮且平滑），有多種顏色可供選擇，具有良好的附著力，並且在扣件上有長期成功應用的記錄。

什麼是鍍鉻？ 為什麼要在鍍鋅中加入鍍鉻？

答：這在上述的保護機制問題中已有部分解答，但仍需進一步說明。如上所述，鋅利用犧牲保護機制保護基底金屬。鋅的犧牲活動相當快速且具侵略性。因此，為了提供更強的腐蝕保護，最好是減緩這種機制。這可以透過鈍化或使表面電性更弱來達成。簡單來說，**鈍化的表面會減緩陽極鋅消失的速度。這可以延長零件承受加速腐蝕測試（例如：中性鹽霧測試）的時間，從而提高防腐蝕能力。**鉻酸鹽是由不同形式的鉻原子所構成，主要是六價鉻離子或三價鉻離子。過去，鉻酸鹽主要由六價鉻成分組成。然而，在過去二十年，六價鉻被曝出對人類和環境不健康。因此，歐盟在大約二十年前禁止汽車使用六價鉻，現在大多數只提供三價鉻。

鉻酸鹽是否有差異？

答：是的，六價鉻酸鹽除了具有鈍化保護機制之外，還具有自我修復功能。自我修復機制是一種特別有效的機制，能夠在損壞時自我修復。不鏽鋼就具備這種保護機制，這也是不鏽鋼在防蝕方面有如此強大表現的原因之一。六價鉻基鉻酸鹽除了能真正提升防腐能力外，還可以配製出自然產生的各種顏色。至少在早期，三價鉻基鉻酸鹽不具備這兩項優點，它們無法製造出市場習以為常的各種顏色，而且在提高鋅的防蝕能力方面也較弱。





業界是否能夠克服這些挑戰？

答：答案很簡單，大部分是肯定的。三價鉻酸鹽的效果仍不及六價鉻酸鹽，但它們已經過改良，如今已能自然重現許多以前的顏色。此外，表面處理產業開發並增加了許多密封劑選項，可透過製造更多滲透表面的障礙來加強防腐保護。



選擇電鍍鋅是否還有其他挑戰？

答：是的，扣件工程師在指定電鍍鋅時，還需要注意其他幾點。1. 電流密度 - 這是指電流在零件上的分佈方式。在電流密度高的區域，電鍍（鋅在鋼件表面的沉積）會更快更有效率。相反地，在電流密度低的區域，沉積的速度會較慢。在大多數情況下，零件兩端的電流密度比中間高。這使得長型零件的電鍍鋅變得棘手，因為要達到零件各處所需的最小鍍層厚度，就必須讓零件在電鍍槽中停留足夠長的時間，讓電流密度低的區域達到最小厚度。然而，在電流密度高的區域，鍍層厚度會持續增加，使整體鍍層呈現狗骨頭形狀。這對大多數在一端或兩端都有螺紋的扣件會有問題，因為**最大鍍層厚度會出現在螺紋區域，導致潛在的量規或螺紋密合問題**。2. 電鍍或塗層進入扣件頭部凹槽或中空部位的能力稱為填孔。一般而言，**電鍍鋅的填孔能力較差，這表示鍍層完全不會沉積在凹槽或中空區域，或沉積的程度非常低**。這會使扣件的特徵（像是：頭部凹槽）比沒有填孔問題的表面更具有弱點。



電鍍鋅是否會發生內部氫脆？

答：根據 ASTM F2708，氫脆是金屬或合金因氫與應力（外部施加或內部殘留應力）結合而造成的永久延展性損失。氫脆失效有兩種形式：內部氫脆 (IHE)，氫來自製造過程；環境氫脆 (EHE)，氫通常是局部腐蝕陰極吸氫的副產品。重要的是要記住，除非幾個關鍵因素有足夠數量的交集，否則氫脆是不會發生的。這些因素包括材料敏感性、氫的存在以及拉伸應力。目前我們知道這些因素中**對氫脆風險和最終失效影響最大的是材料敏感性**。長期研究顯示，當扣件的洛氏硬度高於 HRC39 時，就會變得非常容易脆化。這意味著所有公制屬性等級 12.9 的零件和根據 ASTM F574 加工的英制內六角螺絲都相當脆弱。正因如此，**公制 PC12.9 和英制內凹頭螺絲不應鍍鋅**。

內部氫脆最常見且最令人關注的兩個氫氣來源是零件清洗和電鍍。兩者都是電鍍製程的一部分。最近對扣件氫脆的研究發現，並非所有的電鍍都是一樣的。事實上，形成緻密非常不透水的鍍層比擁有較透水的鍍層發生氫脆的風險較高。箇中原因是滲透性較高的鍍層有較多的途徑讓氫氣散出。電鍍鋅會形成一層非常不透氣的鍍層。因此，鍍鋅零件的風險比有許多其他鍍層和塗層的零件更高。這也是高強度扣件（PC 12.9 及以上的公制扣件和 150,000psi 以上的英制扣件）的製造商和使用者在這些零件上使用電鍍鋅時應非常小心的原因。事實上，最好的做法是完全避免在這些高強度（極易受影響）零件上使用鍍鋅（或任何其他高風險電鍍）。然而，如果客戶堅決要在高度易受影響的零件上使用電鍍鋅，製造商就必須採取每一個步驟來減少氫脆的發生，包括充分的烘烤時間（例如 16 到 24 小時或更多）、測試每批產品的氫脆性、盡量減少電鍍厚度，以及只使用採用統計控制電鍍製程的鍍膜設備。



電鍍鋅是否有新的發展？

答：是的。如上所述，當禁用六價鉻酸鹽而改用三價鉻酸鹽和非鉻酸鹽時，便產生了顏色選項減少和防腐蝕能力降低的問題。在過去的二十年，我們已經完成了許多工作，重新恢復了一些失去的性能。如今，三價鍍鉻系統可以產生黃色和黑色而無需依賴染料添加劑。由於對染料的依賴較少，這些顏色的選項最終都能提高紫外線穩定性。現在幾乎所有的鍍鋅都會加入封孔劑。這些**頂層封孔劑可大幅改善防腐性能，而且通常不會顯著增加鍍鋅層的厚度**。

扭力張力能力（潤滑性）也成為許多客戶想要的關鍵特性。**摩擦改進劑可減輕驅動扣件的力道**，因此經過鍍鋅且改進摩擦後的扣件在人體工學與安全方面都是非常理想的。此外，改進摩擦後的零件可減少安裝過程中扭力與拉力的變化量。即使是微小的安裝變化，也能讓組裝線運作得更順暢。

大約三十年前，鋅合金電鍍開始出現。這些鍍層包括鋅鎳、鋅鐵、鋅鈷和鋅錫。這些鍍鋅替代品都有其優點，使它們在特定應用上具吸引力。然而，在過去十年，鋅鎳已經成為鎳的強大替代品，使其成為鎳替代方案的主要競爭者。此外，波音公司在幾年前就開始研究是否能開發出氫脆性較低的鋅鎳選項。他們成功開發出低氫脆性鹼性鋅鎳表面處理。他們是透過研究和仔細控制電鍍液的成分和化學來達成這目標。結果鋅鎳層的滲透性相當好，但零件看起來比較暗淡，不像傳統電鍍鋅那樣光亮。這項技術目前仍在發展中，商業化的鍍膜設備也不多。然而，未來這種情況可能會改變，工業產能也會成長。 ■

